

気候不安定化とティッピング・カスケード：気候危機の真打を検証する

	研究代表者	北海道大学・低温科学研究所・准教授 関 幸 (せき おさむ)	研究者番号：30374648
	研究課題情報	課題番号：24H00074 キーワード：気候不安定化、ティッピング・カスケード、地球温暖化、過去の温暖期	研究期間：2024年度～2028年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

地球温暖化は今世紀に人類が直面している最大の潜在的脅威の一つとされている。中でも、世界的に深刻な影響をもたらす危険性がある“気候危機の真打”として「気候の不安定化」が挙げられる。また、「ティッピング・カスケード」として知られる急転直下の気候転換のグローバルな連鎖反応の発生も危惧されている。しかし、複雑な相互作用と非線型応答の典型例であるこれらの現象が将来の温暖気候下で発生するのかが従来のアプローチのみに頼って検証することは、容易ではない。本研究では近未来に直面する+1.5から+2℃の温暖化世界 (パリ協定目標値内) で「気候不安定化、ティッピング・カスケードといった現象は発生するのか？」という将来気候リスクに関する核心的な「問い」に“温暖気候データ駆動”のアプローチで挑む。すなわち、連鎖反応の鍵となる可能性のある世界各地において、実際に将来直面すると考えられるような過去の温暖期 (MIS5eおよびMIS11c) を対象に、高精度かつ高時間解像度の温暖気候データセットを生成し、人類の脅威となるような重大な異変が生じていなかったかどうかを検証する。

● 研究の背景

近年、地球温暖化がもたらす可能性のある想定外の脅威として「気候の不安定化」が新たに浮上している (図1)。人類文明は気候の不安定化といった“気候変化の激しい揺さぶり”に脆弱であるが、気候の安定性は気候状態に依存し、変容しうることがわかってきた。さらに、近年、特に危惧されているのが「ティッピング・カスケード」の発生である。これは気候システムの一部が不可逆的に変化する転換点 (ティッピング・ポイント) を超えると、他の部分系のティッピング・ポイントの連鎖を引き起こすいわゆるドミノ倒しのような連鎖反応とその結果生じる複雑な相互作用のことであり、全世界的に深刻な影響をもたらす危険性が指摘されている。そこでパリ協定では人類にとって安全な活動空間が維持できるディフェンスタインとして+2℃未満、できれば+1.5℃未満の温暖化抑制を目標に定めた。しかし、その後、産業革命前より+1.5℃および+2℃温暖な過去の温暖期において北大西洋地域の気候やティッピング要素が著しい不安定化に見舞われていたことが明らかになり、近い将来直面する温暖な気候条件下で気候の不安定化が容易に起こり得ることが浮き彫りになった。しかし、そのような現象が世界各地でも将来発生しうるのはどうかは不明である。

● 研究の目的

将来の温暖地球の類型とされる過去の温暖期 (MIS5eとMIS11c) における世界各地の詳細な気候記録を開拓することで、温暖気候下における気候変動の実態を詳細に明らかにし、近未来に直面するパリ協定の目標内の温暖気候下 (+1.5 or +2℃) において気候不安定化、ティッピング・カスケードのような深刻な脅威となる重大な異変が起こり得るかを検証する。

図1 地球温暖化で気候がa) 不安定化するケースとb) 安定を保つケース。気候が不安定化するケースでは、文明社会により甚大な影響を与えられられる。本研究では、そのような重大な異変が日本において起こり得るかを検証する。

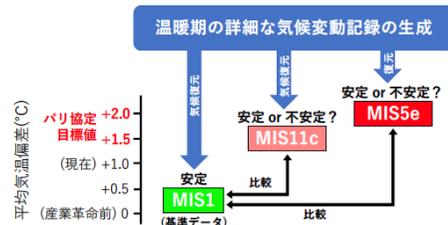
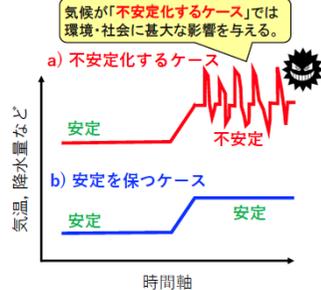


図2 本研究における古気候データ解析の概念図。

● 学術的独自性

自然界でおこる気候変動は実際は非線形のもが多く、気候不安定化やティッピング・カスケードなどはその典型例である。また、気候システムはその振る舞いを気候状態に依存して変化させるという厄介な性質を備えている。そのため気候モデルのような従来のアプローチだけに頼って将来温暖化した世界において起こりうる非線形変動の特性を予測するのは容易ではない。

一方で、過去の温暖期は“温暖化自然実験”と見なすことができ、将来起こり得る事象に対する“観測的制約”を提供できる。本研究の学術的独自性は“温暖期気候データ駆動”というアプローチによって気候予測と適応策において新たに浮かび上がった重要課題に取り組む点にある。

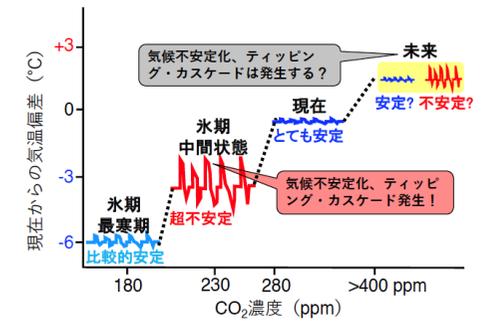


図3 気候状態 (気温とCO<sub>2</sub>濃度) と気候の安定性の関係。古気候の研究から気候の安定性は気候状態に依存し変化することが浮き彫りになった。温暖化した未来の気候は安定ではないかもしれない。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● 将来想定される温暖気候下における気候不安定化の実態

過去の温暖気候の開拓・攻略において、まずなすべきことは、今後の研究の基準となるデータの生成と考えられる。すなわち気候の基本的で重要な指標である温度記録を可能な限り高い精度と時間解像度で生成することが重要である。よって、本研究では「選択と集中」戦略を採用し、温度記録の生成に全力を注ぐ。複数のサイトで採取された堆積物コアに対し、十分検討された信頼性の高い3つの表層水温復元法 (アルケノン、GDGT、放散虫) を適用し、北半球中高緯度における3つの温暖期 (MIS1、MIS5eおよびMIS11c) の表層海水温の時系列記録を生成する。MIS1、MIS5e (+1℃) およびMIS11c (+2℃) における各地域の気候振動の特徴 (振幅や頻度など) を解析し、温暖化との関連性を調べる。これにより、温暖気候下における北半球気候の不安定化の実態を明確にし、人類にとって重大な異変や脅威となりうる事態がどの程度広範に生じていたかを検証する。

● 将来想定される温暖気候下における気候相互作用の実態

グリーンランド沖と南極海の堆積物コアを用いて、氷山の指標である氷床起源岩屑 (IBRD) と氷床融解の指標である藻類脂肪酸の水素同位体比を高解像度で分析し、過去の温暖期で発生した氷床融解イベントを徹底的に調べ上げる。生成されたグリーンランド氷床と南極氷床の融解イベント記録とAMOC変動記録の変動パターンの対比により、AMOC崩壊と氷床融解との関連性を推察する。同様に、AMOCの崩壊イベント記録と北太平洋地域の気候記録の変動パターンを比較し、両者に関連性があるかどうか、温暖気候下ではどの程度の連鎖と相互作用が生じた可能性があるかを考察する。最終的に、全てのデータを総合し、+1℃および+2℃の温暖気候下にて急激な気候転換の連鎖反応が発生する可能性とその頻度や規模を評価する。

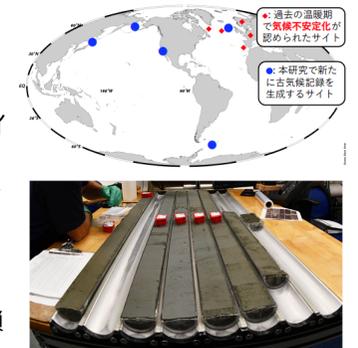


図4 本研究で対象とする海底堆積物コアと採取されたサイト。

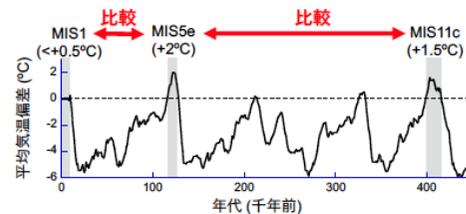


図5 過去45万年間の地球の全球平均気温の推移 (Friedrich et al., 2016)。

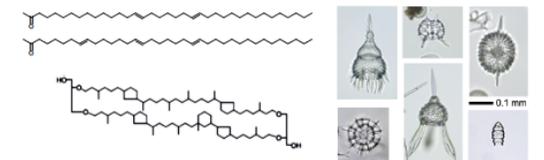


図6 古気候復元に使用する代理指標。